



GISMOVA. GIS-baseret monitoringsstrategi i vandforsyningen. 1. del - Introduktion, baggrund og metode

Larsen, Sille Lyster; Christensen, Sarah Christine Boesgaard; Albrechtsen, Hans-Jørgen; Rygaard, Martin

Publication date:
2015

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Larsen, S. L., Christensen, S. C. B., Albrechtsen, H.-J., & Rygaard, M. (2015). *GISMOVA. GIS-baseret monitoringsstrategi i vandforsyningen. 1. del - Introduktion, baggrund og metode*. DTU Miljø.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

GISMOVA

GIS-baseret monitoringsstrategi i vandforsyningen

1. del - Introduktion, baggrund og metode

Sille L. Larsen
Sarah C. B. Christensen
Hans-Jørgen Albrechtsen
Martin Rygaard

Februar 2015

GISMOVA - GIS-baseret Monitoringsstrategi i Vandforsyningen

1. del - Introduktion, baggrund og metode

2015

Af Sille L. Larsen, Sarah C.B. Christensen, Hans-Jørgen Albrechtsen og Martin Rygaard

Copyright: Hel eller delvis gengivelse af denne publikation er tilladt med kildeangivelse
Udgivet af: Institut for Vand og Miljøteknologi, Miljøvej, Bygning 113, 2800 Kgs. Lyngby
Projekt
hjemmeside: www.vandibyer.dk
Rekvireres: www.orbit.dtu.dk

Forord

Værktøjet er udviklet i perioden november 2013 til januar 2015 i forbindelse med projektet RiskStyr "Risikostyring i vandforsyning" under Vand i byer - Klimatilpasning og Innovation.

Projektet er et samarbejde mellem DTU, DHI og Danmarks tre største forsyninger, Aarhus Vand, HOFOR og VandCenter Syd.

Dette er første delrapport af to, hvor anden del hedder: *GISMOVA - GIS-baseret Monitoringsstrategi i Vandforsyningen. 2. del - Vejledning.*

Lyngby, februar 2015

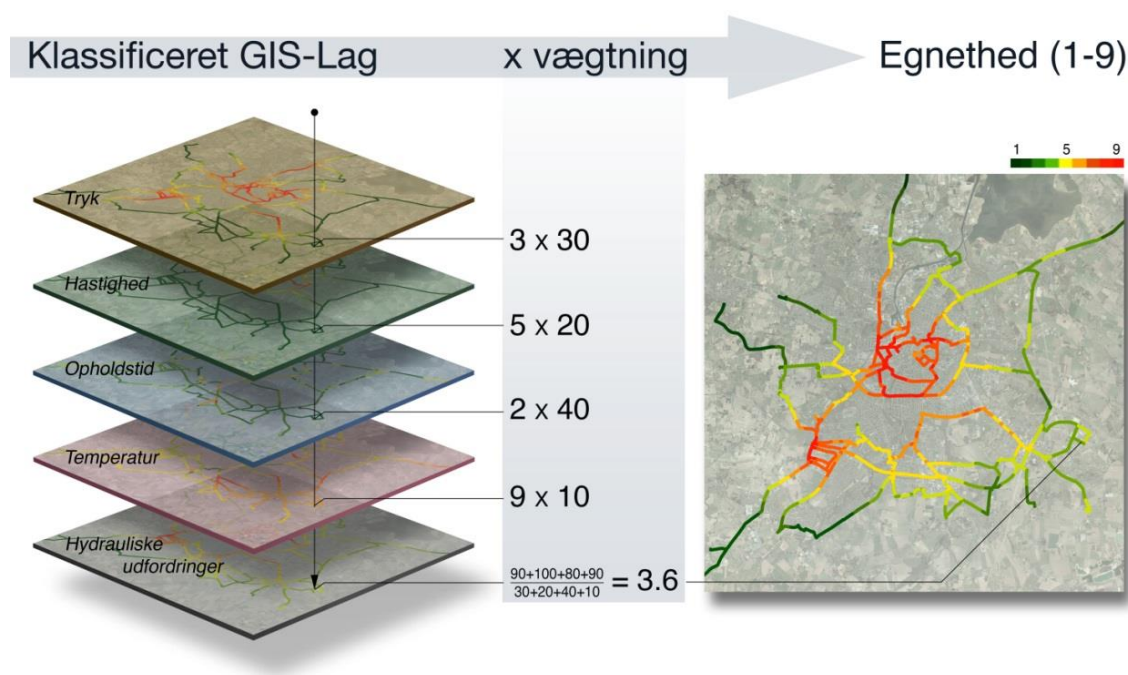
Indhold

Resume	4
1 Introduktion	6
1.1 Formål med GISMOVA	6
2 Hvordan skal rapporten læses	8
3 Baggrund.....	10
3.1 Mikrobiologiske overskridelser i distributionssystemet.....	10
3.2 Danske lovkrav for tilsyn med distributionssystemet	11
3.3 Miljøministeriet: Vejledning om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg	11
3.4 DANVA: Vejledning i planlægning af drikkevandskontrol.....	12
3.5 Internationale anbefalinger.....	12
3.6 Opsummering af anbefalinger	13
4 Monitoringsstrategi	16
4.1 Forudsætninger for at anvende af GISMOVA	16
4.2 Metode.....	16
4.2.1 Trin 1: Identificering af hydraulik, trusler og følsomme forbrugere.....	17
4.2.2 Trin 2: Registrering på distributionssystemet - projektion	26
4.2.3 Trin 3: Klassificering af de enkelte lag	26
4.2.4 Trin 4: Vægtning af lag indbyrdes	27
4.2.5 Trin 5: Udpegning af optimale prøvetagningssteder	29
4.2.6 Trin 6: Evaluering af udpegede prøvetagningssteder	30
5 Evaluering af GISMOVA – erfaringer fra Odense og Aarhus	32
5.1 Videreudvikling	34
6 Referencer	36
Bilag 1- Drikkevandsbekendtgørelsen.....	40

Resume

GISMOVA er et nyt værktøj til at forbedre monitoring af drikkevandskvalitet ved at identificere de største risici for forurening og prioritere monitoringsindsatsen. Dette danner grundlag for en optimeret risikostyring i vandforsyningen.

Ved hjælp af hydrauliske modeller og geografisk data er det muligt at sammenstille viden om ledningsnettet i GIS og identificere egnede områder til vandkvalitetsprøvetagning. Metoden tager udgangspunkt i parametre, som beskriver hydraulik, trusler og følsomhed. Parametrene klassificeres og værdisættes så de skaber et kvantificeret mål for egnethed af den enkelte lokalitet som prøvetagningssted. Metoden er fleksibel og parametre kan tilføjes eller udelades, som det er relevant i den enkelte forsyning og derved skaber værktøjet et nuanceret beslutningsgrundlag for planlæggere og beslutningstagere.



Figur 1 GISMOVA sammenstiller parametre med relevans for valg af prøvetagningssted, så optimale prøvetegningslokaliteter kan udpeges i distributionssystemet.

1 Introduktion

Dansk drikkevand distribueres uden desinfektionsresidual, og derfor er monitoring og styring af drikkevandskvalitet essentiel, ikke mindst i distributionen af vand fra vandværk til forbrugeren. I forbindelse med de seneste års kraftige nedbørshændelser er der opstået mikrobiologiske forureninger med kogepåbud til følge. Der er behov for forbedret overvågning af vandkvalitet for at håndtere risici ved øget nedbørsintensitet som konsekvens af klimaforandringer.

Formålet med moderne risikostyring i vandforsyningerne er at opprioritere og synliggøre arbejdet med vandkvalitet. Dette opnås ved at være på forkant med kvalitetssikring og mere målrettet identificere og vurdere trusler, for dermed at blive bedre til at styre og afværge dem. Ved at kortlægge produktionsfaciliteter og driftsformer fra grundvand til forbruger, er det muligt at identificere forhold, der kan kompromittere målene for drikkevandets kvalitet (risikoanalyse). Dette arbejde hører under Dokumenteret Drikkevandssikkerhed (DDS).

Monitoring er ressourcekrævende, og det kan være udfordrende at udvælge de rette monitoringspunkter. Det er derfor væsentligt at optimere strategien i en kobling med ledningsnet-modeller, så vi får mest muligt ud af de tilgængelige ressourcer.

GISMOVA er kort for "GIS-baseret MONiteringsstrategi i VAndforsyningen" og er en GIS-baseret analysemetode, hvor ledningsnet-modeller koblet med geografi- og forbrugerdata, bruges til at udpege prøvetagningssteder i distributionssystemet.

GISMOVA kan bidrage til DDS ved at kortlægge risici i distributionssystemet og bidrager med en ny og anderledes tilgang til en monitoringsstrategi, hvorved der tages et vigtigt skridt mod styring af risici i forbindelse med levering af rent drikkevand. Værktøjet er benyttet som demonstration i hele Odense og en del af Aarhus og *GISMOVA 1. del* - Introduktion, baggrund og metode, beskriver konceptet, mens *GISMOVA 2. del* - Vejledning i brugen af GISMOVA, fører læseren igennem analysen, trin for trin.

1.1 Formål med GISMOVA

Monitoring af drikkevandskvaliteten i distributionssystemet bruges til at dokumentere, at kvaliteten lever op til gældende kvalitetskrav. Monitoring kan afsløre eventuelle problemer opstrøms i systemet og derved udløse det nødvendige beredskabsrespons. Da det hverken er fysisk eller økonomisk muligt at kontrollere vandet overalt i systemet, bør monitoringsindsatsen prioriteres og rettes mod punkter, der bedst muligt repræsenterer afvigelser og trusler mod drikkevandskvaliteten. Herved opnås den bedste beskyttelse af forbrugerne, for den givne indsats.

GISMOVA-analysen gør det muligt at udpege områder af høj prioritet for prøvetagning af drikkevandskvaliteten i distributionssystemet og at evaluere effekten i henhold til hvilke parametre og hvor mange forbrugere, der er dækket af et eventuelt prøvetagningssted.

Formålet med GISMOVA er derfor at identificere prøvetagningssteder på ledningsstrækninger der:

- Udgør forøget risiko mod drikkevandskvaliteten
- Leverer vand til følsomme forbrugere, hvor en forurening vil have særligt store konsekvenser

Dette gøres ved at etablere en objektiv og systematisk tilgang til valg af prøvetagningssteder i distributionssystemet under hensyntagen til fx:

- Hydrauliske forhold
- Geografisk bestemte trusler mod drikkevandskvaliteten
- Følsomme forbrugere

Resultatet af analysen er en prioriteret monitoringsindsats, der bidrager til at identificere og dermed styre de risici, der er forbundet med distributionssystemet og hjælper med at skabe:

- Overblik over trusler for forurening af drikkevand i distributionssystemet
- Sammenhænge mellem forbrugerdensitet, følsomheder og forureningstrusler

Der er fokus på monitoring af den generelle vandkvalitet i distributionssystemet. Målgruppen er således danske vandforsyninger og myndigheder, med særligt fokus på de medarbejdere, der udvikler og vedtager monitoringsstrategien for distributionssystemet i den pågældende forsyning.

2 Hvordan skal rapporten læses

GISMOVA er beskrevet i to delrapporter. Første del beskriver baggrunden for en GISMOVA-analyse, heriblandt dataindsamling og teori bag databehandling, og præsenterer en evaluering af metoden baseret på de første afprøvninger. Metoden tager udgangspunkt i dansk og international vejledning til drikkevandsmonitoring i distributionssystemer. Delrapport 1 fungerer som sammenfatning og introduktion til metoden.

Anden delrapport er et eksempel og en vejledning til brugen af GISMOVA, hvor metoden gennemgås trin for trin med udgangspunkt i VandCenter Syds forsyningsområde. Delrapport 2 gennemgår en række forskellige parametre med relevans for valg af prøvetagningssteder og viser hvordan forskellige typer af parametre kan integreres i metoden. Vejledningen er forfattet med henblik på at forsyningens GIS-medarbejder eller en rådgiver med basalt GIS-kendskab kan gennemføre sin egen GISMOVA-analyse.

3 Baggrund

I modsætning til fx fødevarevirksomheder har vandforsyninger ikke samme mulighed for hurtigt at trække produktet tilbage fra markedet. Som det er set i flere senere forureningssager, kan en forurening af drikkevandet betyde gener i mange uger efter, at forureningen er opdaget; fx i form af kokeanbefaling eller i værste fald alvorlig sygdom. Det er en betydelig omkostning ikke kun for forsyningen, men også for kunderne og samfundet. Kunderne har ikke blot gener af sådanne forureningssager, men mister i høj grad også tillid til det rene drikkevand.

Der vil i følgende afsnit være en beskrivelse af forureningshændelser registreret i årene 2000-2002, 2010 og 2011 (Engelsborg et al. 2009; Sundhedsstyrelsen & Naturstyrelsen 2011; Sundhedsstyrelsen & Naturstyrelsen 2012). Der er i rapporterne fra Miljøstyrelsen og Naturstyrelsen primært registreret mikrobiologiske forureninger, men fokus for nærværende rapport er generel forurening i distributionssystemet i henhold til de parametre, der kontrolleres for, dvs. begrænset kontrol og kontrol med uorganiske sporstoffer. Der er efterfølgende beskrevet gældende krav for tilsyn med distributionssystemet, både mikrobiologi og uorganiske sporstoffer, samt danske og internationale vejledninger for den generelle drikkevandskontrol.

Sammenfatning af forureningssager og vejledning til sporing, har været retningsgivende i udviklingen af GISMOVA.

3.1 Mikrobiologiske overskridelser i distributionssystemet

I 2009 blev der udarbejdet en undersøgelse af mikrobiologiske drikkevandsforureninger for årene 2000-2002 (Engelsborg et al. 2009). Ledningsnet inklusiv ledningsbrud og ledningsarbejde blev identificeret som årsagen til 17 mikrobiologiske overskridelser, dvs. 8,3 % af alle hændelser. Engelsborg et al. (2009) fandt imidlertid også, at 42 % af de mikrobiologiske overskridelser blev påvist i distributionssystemet. Der er derfor ikke sammenhæng mellem noterede hændelser (8,3 %) og påviste hændelser (42 %).

Sundhedsstyrelsen og Naturstyrelsen udarbejdede efterfølgende to rapporter om drikkevandsforureninger i Danmark baseret på data fra henholdsvis 2010 og 2011 (Sundhedsstyrelsen & Naturstyrelsen 2011; Sundhedsstyrelsen & Naturstyrelsen 2012). Der var registreret henholdsvis 105 og 102 mikrobiologiske forureningsepisoder på almene vandforsyningsanlæg, svarende til godt 3 % af de almene vandforsyninger. I de to rapporter anførtes distributionssystemet som årsag til en forureningshændelse i henholdsvis 2 og 7 % af tilfældene, mens forudgående arbejde på ledningsnettet eller vandværket er registreret for 18 % af hændelserne i 2010. Henholdsvis 20 og 43 % af forureningerne skyldtes ukendte årsager (Sundhedsstyrelsen & Naturstyrelsen 2011; Sundhedsstyrelsen & Naturstyrelsen 2012).

På baggrund af de tre rapporter vurderes det, at flere end de noterede hændelser af mikrobiologiske overskridelser skyldes forurening i distributionssystemet.

3.2 Danske lovkrav for tilsyn med distributionssystemet

Kravene til drikkevand, der bruges i husholdningen eller kommer i forbindelse med fødevarer, er fastsat i den danske lovgivning ved bekendtgørelse 292 af 26/3/2014, også kendt som Drikkevandsbekendtgørelsen, med baggrund i EUs drikkevandsdirektiv (European Commission 1998; Miljøministeriet 2014).

Drikkevandets kvalitet kontrolleres af forsyningen, mens kommunen fungerer som myndighed på vandforsyningsområdet. Kommunerne fører tilsyn med, om forsyningen lever op til kravene til drikkevandets kvalitet og skal godkende forsyningens kontrolprogram (Miljøministeriet 2014).

Drikkevandets kvalitet vurderes i forhold til mikrobiologisk kvalitet, hovedbestanddele, organiske mikro-forureninger og uorganiske sporstoffer (Danva 2012; Miljøministeriet 2014). I distributionssystemet udtages prøver til "begrænset kontrol", samt prøver for uorganiske sporstoffer (hvis ikke disse udtages på vandværket) (Miljøministeriet 2014), se Bilag 1.

Kvalitetskravene fastsat i lovgivningen er baseret på grænseværdier, og kontroller udføres for at dokumentere, at vandkvaliteten lever op til kravene (Danva 2012).

Drikkevandsbekendtgørelsen angiver kontrolhyppighed på basis af den distribuerede eller producerede vandmængde (Miljøministeriet 2014), se Bilag 1.

Der er ingen lovmæssige krav til, hvor prøverne skal udtages i distributionssystemet. Der er i "Vejledning om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg" fra Miljøstyrelsen (2005) lagt op til, at de respektive vandforsyninger, på baggrund af et indgående kendskab til distributionssystemet, udpeger steder i distributionssystemet til monitorering af vandkvaliteten, som kommunen derefter godkender.

3.3 Miljøministeriet: Vejledning om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg

Drikkevandsbekendtgørelsen definerer ikke bestemte steder, hvor prøvetagningen skal udføres i distributionssystemet. Miljøministeriet har imidlertid udarbejdet en vejledning (Miljøministeriet 2005), som har til hensigt at påpege steder, hvor der kan tages "repræsentative prøver" for vand i netværket:

- *Vandprøver udtages fra en egnet vandhane*
- *Vandprøverne skal udtages på tidspunkter, så mulige forskelle i den vandkvalitet, der udsendes over hele året, måneden, ugen og dagene, bliver kendt. Dette vil især gælde ledningssystemer, som forsynes fra flere forskellige vandværker med forskellig vandkvalitet. I første omgang vil kendskabet til variationerne i de enkelte vandværkers egen kvalitet være forudsætning for at sige noget om vandkvaliteten i ledningsnettet. Men det er også vigtigt at afgrænse de områder, hvor de enkelte vandværker overvejende leverer deres vand, og de områder, der får blandingsvand fra flere vandværker*

- *Viden om hvorledes vandkvaliteten ændrer sig i ledningsnettet som følge af varierende opholdstid og tilstand (især blinde ender og stagnations- og dybdepunkter) er en forudsætning for, at der kan udtages repræsentative vandprøver. Vandtårne og andre højdebeholdere er vigtige kontrolpunkter til at bedømme vandkvaliteten i ledningsnettet (Miljøministeriet 2005)*

Ovenstående kan fortolkes således at Miljøministeriet råder til prøvetagning følgende steder i distributionssystemet:

- Afgang fra vandværker og vandtårne/højdebeholdere
- Zoner med (blinde-) rørender
- Zoner med lavt og stagnerende vandforbrug
- Zoner som ligger i varierende afstand fra vandværket

3.4 DANVA: Vejledning i planlægning af drikkevandskontrol

DANVA (Dansk Vand- og Spildevandsforening) udfærdigede i 2011 "Vejledning i planlægning af drikkevandskontrol" (Danva 2012) for at sætte større fokus på mikrobiologisk vandkvalitetskontrol i vandforsyningen. Det er DANVAs vurdering, at den lovpligtige kontrol ikke er tilstrækkelig til at dokumentere den mikrobiologiske drikkevandskvalitet og fraråder derfor vandforsyningerne at søge om nedsat kontrolhyppighed i henhold til bekendtgørelse 292. DANVA råder derimod til skærpet kontrol af de mikrobiologiske parametre (Danva 2012).

Anbefalinger, der indgår i DANVAs vejledning, og som ikke allerede er anført i foregående afsnit (3.3), er samlet og tolket således:

- Etablering af permanente prøvetagningssteder, hvor resultater for et normalt niveau (baseline), kan bruges til at identificere kvalitetsændringer
- Prøvetagningsstedet kan ændres på baggrund af sæsonvarieret vandforbrug, fx stikprøver om sommeren i sommerhusområder
- Prøverne udtages i zoner med lang opholdstid
- Prøverne skal tages i strategiske vigtige knudepunkter, fx på steder, hvor vandet fra forskellige kilder er blandet eller hvor kildesporing er gunstig i tilfælde af en forurening
- Prøvetagning skal udføres på steder, hvor store mængder vand forbruges, også i weekender og i ferier, fx plejehjem eller hospitaler
- Prøvetagningsstederne skal være tilgængelige hele tiden

3.5 Internationale anbefalinger

World Health Organization (WHO) opstiller løbende retningslinjer for overvågning af drikkevandskvaliteten (WHO 1997; WHO 2014). Derudover, har Kirmeyer et al. (2002) og American Water Works Association anbefalet prøvetagningssteder som Environmental Protection Agency (EPA) refererer til i deres vejledning (USEPA 2007). Kirmeyer et al. (2002) foreslår til forskel fra de danske anbefalinger, at der også tages prøver:

- Steder, hvor vandets opholdstid varierer
- Steder, hvor vandet stammer fra forskellige hovedledninger
- Steder, hvor de hydrauliske forhold er ugunstige, som fx loops eller lavtryks-zoner
- Tilfældig stikprøvekontrol, for at opdage ukendte, lokale problemer

I Sverige betragtes drikkevand som et levnedsmiddel og kontrolleres af Livsmedelsverket, hvad der i Danmark svarer til Fødevarestyrelsen. I deres "Vägledning till Livsmedelsverkets föreskrifter (SLVFS 2001:30) om dricksvatten" (Livsmedelsverket 2001) udpeges både faste og tilfældige prøvetagningssteder. Til forskel fra de danske og internationale retningslinjer, kræver de svenske myndigheder, at der tages hensyn til både private forbrugere såvel som virksomheder og offentlige institutioner, så antallet og placeringen af prøvetagningssteder afspejler fordelingen af private forbrugere og virksomheder i forsyningsområdet.

3.6 Opsummering af anbefalinger

På baggrund af de danske og internationale anbefalinger, kan anbefalede prøvetagningssteder inddeles i otte overordnede fokusområder (Tabel 1). Flere fokusområder går igen i de forskellige anbefalinger og Tabel 1 viser, hvordan de enkelte institutioner anbefaler prøvetagning i distributionssystemet.

Tabel 1 Opsummering af danske og internationale anbefalinger. Et 1-tal viser at det respektive fokusområde er benævnt i vejledningen og (-) indikerer at fokusområdet ikke er i betragtning. En manglende anbefaling betyder ikke at der er modstand mod det respektive fokusområde.

Fokus	Beskrivelse	Miljøstyrelsen (2005)	DANVA (2012)	CDW (2012)	NHMRC (2011)	Kirmeyer et al. (2002)	WHO (1997; 2014)	Livsmedelverket (2001)	Antal
Opmagasiner	Alle steder hvor vandet kommer fra eller bliver opmagasineret, fx. vandværker, højdebeholdere eller pumpestationer.	1	1	1	1	1	1	-	6
Strategiske lokaliteter	Prøvetagningssteder bør fordeles jævnt ud i distributionssystemet, for at dække så meget af systemet som muligt ved prøvetagning. Prøvetagningssteder bør placeres steder i systemet hvor vandet blandes fra forskellige kilder, eller hvor der er lav grad af blanding, for at spore kilden.	1	1	1	1	1	1	-	6
Kritiske lokaliteter	Steder i distributionssystemet, hvor der fx er lang opholdstid, døde ender eller lave hastigheder.	1	1	1	1	1	1	-	6
Følsomme forbrugere	Steder i systemet hvorfra mange borgere får leveret vand eller hvor en forurening kan have stor konsekvens, fx ved hospitaler, plejehjem, fødevarevirksomheder eller skoler.	-	1	-	-	1	1	-	3
Faste lokaliteter	Faste prøvetagningssteder, for at vandets kvalitet kan sammenlignes med data indsamlet over en længere periode.	-	1	-	1	-	1	1	5
Tilfældige lokaliteter	Tilfældige stikprøver, for at dække et større geografisk område.	1	-	1	-	-	1	1	4
Sæsonafhængige lokaliteter	Forbrugsvariationer hen over året bør afspejles i valget af prøvetagningssteder, fx sommerhuse.	-	1	-	-	1	-	-	2
Tilgængelige lokaliteter	Prøvetagningsstedet bør være tilgængeligt 24 timer i døgnet, alle ugens dage.	-	1	-	-	1	-	-	2

Der er oftest fokus på opmagasinering, strategiske og kritiske lokaliteter, når der anbefales prøvetagningssteder i distributionssystemet (Tabel 2). Der er derudover bred enighed om vigtigheden af faste prøvetagningssteder og den viden, der kommer af at sammenligne data over længere tid, men også om betydningen af at dække et større geografisk område ved hjælp af stikprøver.

Det kan være vanskeligt at have overblik over hele forsyningsområdet og dermed sikre en bredt dækkende monitoringsstrategi. Prøvetagningssteder ved afgang fra vandværk, højdebeholder eller trykforøger, som er nemme at udpege indgår allerede i mange forsynings monitoringsprogram. Strategiske og kritiske lokaliteter er sværere at identificere, da de afhænger af flere forhold og ofte kræver, at der opstilles en hydraulisk model, der simulerer tryk og hastighedsforhold i distributionssystemet. Hvorvidt et prøvetagningssted skal være fast eller sæsonafhængigt, eller om der skal være tilfældige stikprøvekontroller, er en vurderingssag, der følger den fysiske placering af et prøvetagningssted.

I det følgende afsnit beskrives, hvordan GISMOVA-analysen bidrager til at skabe overblik over forsyningsområdet og danner grundlag for en transparent monitoringsstrategi. Fokus ligger primært på kortlægningen af de fysiske lokaliteter for en monitoringsindsats og er inddelt i kategorierne: Hydraulik, trusler og følsomme forbrugere.

4 Monitoringsstrategi

Formålet med GISMOVA er at identificere kritiske ledningsstrækninger i distributionssystemet og at udpege vigtige prøvetagningssteder. At udpege optimale prøvetagningssteder kan hjælpe med at styre de risici, der er forbundet med vandforsyningsnettet og bidrager med:

- Identifikation af største risici
- Prioritering af indsats
- "Early warnings"

GISMOVA har tre primære anvendelsesområder:

- Brug af geografisk analyse forbedrer overblikket af ledningsnettet, og metoden kan tilpasses specifikke kontrolstrategier. Metoden er fleksibel og giver mulighed for at tilføje parametre efter behov. Metoden kan have fokus på mikrobiologisk forurening, ved fx at kortlægge risici for brud og indsvivning eller have fokus på udledning af uønskede sporstoffer, ved at prioritere forurenede grunde og problematiske ledningsmaterialer højest
- Kortlægningen kan benyttes som dokumentation for den valgte monitoringsstrategi
- Overblikket over distributionssystemet kan anvendes til andre formål, såsom geografisk information under en beredskabssituation eller som beslutningsstøtte ved placering af on-line sensorer eller sekundære hygiejniske barrierer i distributionssystemet

4.1 Forudsætninger for at anvende af GISMOVA

Udgangspunktet for brug af GISMOVA kan være meget forskelligt fra forsyning til forsyning. Nogle forsyninger har adgang til opdaterede hydrauliske modeller, der er kalibrerede og bruger online måleudstyr til at registrere fx temperatur, flow og tryk. Andre forsyninger har off-line modeller, der simulerer hydraulikken på baggrund af standardiserede vandforbrugsmønstre. Hvor nogle forsyninger inkluderer hele distributionssystemet i den hydrauliske model, inddrager andre kun de største ledninger. Tilgængelighed af demografisk data såsom befolkningstæthed, hospitaler, plejehjem, følsomme produktionsvirksomheder eller virksomheder med risiko for back flow kan også variere meget fra forsyning til forsyning. Udpegning af prøvetagningssteder må baseres på de tilgængelige data, velvidende at resultatet af analysen er en repræsentation af tilgængelig data, og ikke er en fuldstændig repræsentation af virkeligheden. Dog er det muligt løbende at opdatere modellen, og ny viden kan efterhånden indarbejdes i analysen, når den er tilgængelig.

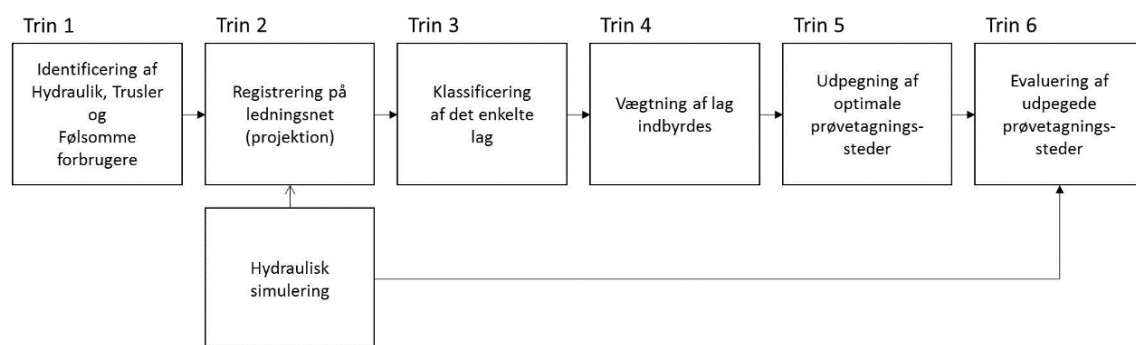
4.2 Metode

En endelig monitoringsstrategi er et valg mellem alternative beliggenheder og derved en vurdering af egnethed – altså i hvor høj grad en lokalitet er mere eller mindre egnet end en

anden lokalitet. Et beslutningsstøtteværktøj bør fungere som et værktøj til at støtte og styrke processen ved en sådan beslutning. Da GISMOVA kan håndtere flere typer af data og kan variere vægtningen af den enkelte parameter, er det en effektiv metode til at vise sammenfald og uligheder mellem flere løsningsmuligheder.

Metoden består af 6 primære trin (Figur 2), der gennemgås i afsnit 4.2.1-4.2.6:

- Identificering af væsentlige datalag, vedr. hydraulik, følsomheder og trusler
- Projektion af data ind på ledningsnettet
- Klassificering af de enkelte lag til en fælles relativ skala
- Sammenstilling af lagene gennem vægtning af de enkelte parametre
- Analyse af resultatet og udpegning af optimale prøvetagningssteder
- Evaluering af udpegede prøvetagningssteder



Figur 2 Oversigt over fremgangsmåden for udpegning af optimale prøvetagningssteder i distributionssystemet.

Til analysen er der taget udgangspunkt i anvendelsen af ArcGIS 10.1, ArcCatalog 10.1. Softwaren har en lang række funktioner og værktøjer vedrørende GIS, tabeller og database-arbejde. ArcGIS anvendes allerede bredt på alle niveauer i den offentlige administration og planlægning, og det er derfor et oplagt værktøj at benytte som beslutningsstøtteværktøj. GISMOVA er relativ simpel at implementere og kan formentlig også implementeres i andet GIS-software.

De enkelte værktøjers anvendelse i analysen er beskrevet i detaljer i Delrapport 2, hvor metoden anvendes med VandCenter Syds distributionssystem som demonstrationscase. I det følgende gennemgås de foreslåede datalag.

4.2.1 Trin 1: Identificering af hydraulik, trusler og følsomme forbrugere

Der er identificeret 18 parametre i distributionssystemet med betydning for drikkevandskvaliteten (Tabel 2). Derudover kan analysen suppleres med andre parametre afhængig af datatilgængelighed og lokale forhold. I forbindelse med GISMOVA, er der identificeret grænseværdier for de enkelte parametre. Grænseværdierne definerer det relevante interval ved en GISMOVA-analyse og er vejledende værdier.

Parametrene er inddelt i tre kategorier: Hydraulik, trusler og følsomme forbrugere, hvor data kan findes og i hvilket GIS-format det typisk findes (Tabel 2). De enkelte parametre og grænseværdier er uddybet i det følgende afsnit.

Tabel 2 Oversigt over de anvendte datasæt i analysen, deres type og oprindelse.
Grænseværdier definerer det interval, relevante for den enkelte parameter. For enkelte parametre er en numerisk grænseværdi ikke relevant (-).

Kategori	Parameter	Datakilde	Geometri	Grænseværdi
Hydraulik	Parallelprøver	Hydraulisk model	Linje	> 95 % vand fra samme kilde
	Vandets opblandingsgrad	Hydraulisk model	Linje	-
	Lave hastigheder	Hydraulisk model	Linje	< 0,4 m/s
	Relativt vandtryk	Hydraulisk model	Linje	< 20 mVs
	Trykvariation*	Hydraulisk model	Linje	> 30 mVs
	Trykstød	Hydraulisk model	Linje	Ikke defineret
	Opholdstid	Hydraulisk model	Linje	> 48 timer
	Temperatur	Hydraulisk model	Linje	> 12 grader
Trusler	Forurenede grunde	Miljøportalen	Polygon	< 5000 meter fra grunden
	Oversvømmede arealer	Kortforsyningen/Forsyningen	Polygon	< 5000 meter fra arealet
	Kritiske back-flow virksomheder	Kommune/Forsyningen	Punkt	< 5000 meter fra virksomheden
	Ledningsalder - Drikkevandsledninger	Ledningsdatabase	Linje	> 25 år
	Ledningsmateriale - Drikkevandsledninger	Ledningsdatabase	Linje	-
	Tryksatte Spildevandsledninger	Ledningsdatabase	Linje	< 5 meter fra drikkevandsledninger
Følsomme forbrugere	Hospitaler	Kommune/Forsyning/Google	Punkt	< 5000 meter fra hospitalet
	Plejehjem	Kommune/Forsyning/Google	Punkt	< 5000 meter fra plejehjemmet
	Produktionsvirksomheder/ Varsko	Kommune/Forsyning/Google	Punkt	< 5000 meter fra virksomheden
	Befolkningstæthed	Kommune/Forsyning	Punkt	-

* Trykvariation henviser til den maksimale variation i en ledningsstrækning, $Tk(var) = Tk(max) - Tk(min)$.

4.2.1.1 Hydraulik

Vandforsyningens distributionssystem er sårbart overfor udefrakommende forureningskilder, såfremt der er tab af fysisk/hydraulisk integritet af systemet. Et tab af

hydraulisk integritet dækker over opretholdelse af tilstrækkeligt flow og tryk i ledningerne, samt lave temperaturer og opholdstider (Besner et al. 2011).

Nedenfor er de hydrauliske parametre og deres betydning for vandkvaliteten i distributionssystemet beskrevet. Der er for hver parameter fundet en grænseværdi, der definerer en øvre eller nedre grænse for det interval, der er relevant at inddrage i analysen.

Vandets opblandingsgrad og parallelprøver

Både danske og internationale anbefalinger påpeger prøvetagningssteder i distributionssystemet, hvor vandet har en høj grad af opblandet vand fra forskellige kilder. I ledningsstrækninger med vand fra forskellige kilder kan forbrugeren opleve varierende vandkvalitet, og det kan derfor være relevant at kontrollere kvaliteten i disse områder. Ved brug af desinfektionsresidual, kan det også være relevant at kontrollere kvaliteten i områder hvor vand blandes, da residualen aftager med afstanden fra kilden. Alternativt anbefales, at finde prøvetagningssteder i strækninger med lav grad af opblandet vand, så vandet kan spores tilbage til kilden vha. parallelprøvetagning.

Vandets udbredelse i distributionssystemet kan simuleres med hydrauliske modeller. Den hydrauliske model beregner for hver ledning og knude den procentvise andel af vand, der kommer fra de forskellige kilder. Ved at benytte en hydraulisk model, der simulerer vandets bevægelse i systemet for en "standard uge", kan man beregne den gennemsnitlige opblanding af vand over ugen. Hvis der altid prøvetages i distributionssystemet på samme tidspunkt i løbet af dagen og på specifikke dage, kan man alternativt beregne vandets opblandingsgrad i et specifikt tidspunkt.

Ved parallelprøvetagning sættes en nedre grænse for opblanding på 95 % - dvs. at der udpeges zoner, hvor mere end 95 % af vandet stammer fra én kilde. Det er muligt at reducere eller øge den procentvise andel af vand, der kommer fra et vandværk, hvis 95 % er for stor eller lille en andel til at repræsentere ét vandværk

For parameteren "Vandets opblandingsgrad" findes antallet af vandværker, der bidrager med vand, for hver enkel ledningsstrækning. Antallet af vandværker benyttes som direkte input til klassificering af data (se trin 3, afsnit 4.2.3). Der er ikke defineret en øvre eller nedre grænse for denne parameter. Generelt klassificeres parametre på en skala fra 1-9, men denne parameter angives på en skala fra 1 vandværk, til det maksimale antal vandværker der bidrager med vand i samme ledningsstrækning, dog maks. 9 vandværker. Det betyder, at det ikke nødvendigvis vil være alle 9 klasser, der er repræsenteret ved klassificering, og denne parameter kan derfor ikke vægtes mod andre parametre uden hensyntagen til de potentielt lavere klasser.

Lave hastigheder

Partikler i distributionssystemet, enten udfældet i vandet eller fastholdt på indersiden af røret, er den mest afgørende faktor relateret til misfarvet vand (Vreeburg & Boxall 2007). Når vandet står stille eller flyder ved lave hastigheder blandes det med det stillestående

vand, der sidder i rørets ujævnheder, hvorved kvaliteten påvirkes i negativ retning (Nawrocki et al. 2010).

Vandets hastighed i distributionssystemet simuleres i den hydrauliske model. For at vurdere problemet med misfarvet vand, er det relevant at undersøge, hvor i systemet der forekommer lave maksimal-hastigheder. Det er derfor de maksimalt målte hastigheder, for hver enkel rør-sektion, der ønskes beregnet.

Ifølge Vreeburg & Boxall (2007) og Poças et al. (2013) vil rørene opleve en selvrensende effekt ved hastigheder over 0,4 m/s. Der er derfor angivet en øvre grænse på 0,4 m/s i GIS-analysen for parameteren "lave hastigheder"

Relativt vandtryk

Under normale omstændigheder vil trykket i distributionssystemet være højere end det eksterne tryk i den omkringliggende jord og dermed forhindre indtrængende vand. Ifølge Kirmeyer et al. (2001) er det muligt for en udefrakommende væske at trænge ind i drikkevandsrøret selv under forhold hvor det relative tryk i røret er lavt (3 mVs), men ikke negativt. Derudover viser flere rapporter at lave eller negative tryk ikke er ualmindelige i distributionssystemer (Kirmeyer et al. 2001; LeChevallier et al. 2004; Gullick 2004; Gullick 2005)

Lave vandtryk i distributionssystemet er derfor inddraget i GIS-analysen som en parameter, og det er det lavest beregnede vandtryk i hver enkel ledning hen over en "standard uge", der trækkes ud af den hydrauliske model.

Der benyttes en øvre grænseværdi på 20 mVs, da man i distributionssystemer opererer med tryk mellem 20-50 mVs (Winther et al. 2010). Dette er begrundet i et generelt ønske om at opretholde et vandtryk i distributionssystemet på mellem 20-50 mVs af hensyn til brug af brandhaner og bekvem aftapning (Winther et al. 2010).

Viden om omfanget af forurening ved lave tryk i distributionssystemet er begrænset, og det er heller ikke klart, ved hvilket tryk indsivning er en reel trussel – indtil da, er 20 mVs brugt som grænseværdi, og det vurderes relevant at inkludere parameteren i analysen.

Indsivning forårsaget af lave tryk kan medføre forurening af vandet i distributionssystemet, hvis tre betingelser er opfyldt: Der findes en lækage i systemet som tillader udefrakommende vand at trænge ind, det interne tryk i systemet er lavt nok, og et forurenende stof er til stede i det indtrængende vand. Dette kan fx være ved en kraftig regnhændelse, hvor der sker en mobilisering af forurening eller opstuvning af spildevand fra kloakken. Denne parameter er derfor relevant at sammenholde med viden om gamle rør, rør af et materiale med høj brudfrekvens og fx forurenede grunde eller oversvømmede områder.

Trykvariation

Afhængig af ledningsmateriale, diameter og vægtykkelse kan rør tåle varierende tryk, hvilket er defineret af rørets trykklassificering (Scandinavian Society for Trenchless Technology 2014). Hvis rørene dagligt er udsat for meget store trykudsving antager vi at rørene vil stå og "arbejde", hvilket over tid vil stressere rørets styrkeegenskaber.

Hvis der er høje trykvariationer i distributionssystemet (maks. tryk – min. tryk) er det relevant at inddrage parameteren i GIS-analysen. Da man som tidligere nævnt opererer med tryk mellem 20 og 50 mVs i distributionssystemet (Winther et al. 2010), er den nedre grænse for parameteren defineret til 30 mVs. Det vil sige, at hvis det maksimale tryk minus det laveste tryk beregnet i de enkelte rør er mere end 30 mVs, bør denne parameter inddrages i analysen. Data hentes fra den hydrauliske model baseret på en "standard uge".

Ligesom for "relativt vandtryk" og "trykstød" skal denne parameter sammenholdes med viden om ledningsalder, rør af et materiale hvor brudfrekvensen er høj og fx forurenede grunde eller oversvømmede områder.

Trykstød

Pludselige trykstød kan opstå ved pumpestart og stop, ledningsbrud, åbning af ventiler og brandhaner eller strømsvigt. Trykstød forårsager høje tryk efterfulgt af negative trykniveauer, og der vil i disse tilfælde være øget risiko for indtrængende vand (LeChevallier et al. 2003; Besner et al. 2011). Forureningspotentiallet ved trykstød i distributionssystemet afhænger af adskillige faktorer såsom antal og størrelse af lækager i systemet, type og omfang af en forurening omkring røret, frekvens, varighed og størrelse af trykstødet og endelig antallet af berørte ledninger (LeChevallier et al. 2003). Denne parameter er derfor ligesom ved lave tryk relevant at kigge på i sammenhæng med de førnævnte parametre.

Er der data vedrørende trykstød er denne parameter relevant at inkludere i analysen.

Opholdstid

Vandets opholdstid eller alder er et udtryk for, hvor længe vandet har været i røret. Vandets alder fungerer som generel indikator for vandets kvalitet, da adskillige potentielt skadelige kemiske og biologiske processer, som fx mikrobiel vækst og korrosion af røret er tidsafhængige (CBCL Limited 2011). Distributionssystemet er ofte designet, så der tages hensyn til fremtidig udvidelse af systemet og behov for vand til brandslukning. Dette, samt lange afstande og faldende forbrug over fx sommeren (sæsonvariationer), resulterer ofte i at vandet bliver "gammelt" (USEPA 2002). Vandets alder i distributionssystemet er derfor inddraget i forbindelse med at finde kritiske prøvetagningssteder.

Data fra den hydrauliske model er en gennemsnitsalder for det vand, der befinder sig i røret (vandet kan stamme fra forskellige kilder af varierende alder).

Ifølge American Water Works Association (1992) er "gammelt" vand defineret ved en opholdstid på mere end tre dage. Da der generelt ikke benyttes desinfektionsresidualer i danske forsyninger, er der større risiko for eftervækst i distributionssystemet. Valget af den nedre grænseværdi for parameteren "opholdstid" er derfor baseret på en konservativ betragtning af definitionen fra AWWA (1992) og sat til 48 timer.

Temperatur

Vandets temperatur er en afgørende parameter i forhold til mikrobiel vækst (Lechevallier, 1989). Mange undersøgelser peger på signifikant mikrobiologisk vækst ved vandtemperaturer over 15 grader (Fransolet et al. 1985; Donlan 1988; LeChevallier et al.

1991; Dukan et al. 1996). Ifølge Fransolet et al. (1985) er vækst af *Escherichia coli* og *Enterobacter aerogenes* dog meget lav ved temperaturer under 20 grader. Høje vandtemperaturer er især et sæsonafhængigt problem, da der ofte observeres højere coliforme niveauer i sommermånederne (USEPA 1990).

Såfremt forsyningen har opstillet temperaturloggere ude i distributionssystemet kan data downloades, og det vil være de højest målte temperaturer, der er relevante at kigge på.

Eftersom Drikkevandsbekendtgørelsen anfører, at der bør tilstræbes vandtemperaturer under 12 grader ved taphaner, er denne værdi defineret som den nedre grænse for vandets temperatur i GIS-analysen.

4.2.1.2 Trusler

Et tab af fysisk integritet af distributionssystemet indebærer fx brud på ledninger, utildækkede reservoirs, lækager i vandbeholdere eller problematiske krydsforbindelser uden tilstrækkelig tilbagestrømningsmekanismer.

Nedenfor er beskrevet fysiske forhold, der kan have indflydelse på vandets kvalitet undervejs i distributionssystemet.

Jordforurening

Der er mulighed for at inddrage viden om forurenede grunde, da der i disse områder kan være øget risiko for indsivning af uorganiske sporstoffer og organiske mikroforureninger.

Det er kun de forurenede grunde, der ligger i direkte forbindelse med ledningsnettet, som er inkluderet i modellen. De resterende forureninger er fjernet under antagelse af, at der i den dybde hvor ledningen oftest er placeret ikke forekommer horisontalt flow og for at forureningen er en reel trussel for drikkevandet, skal ledningen derfor ligge i forureningen.

Data kan hentes på Miljøportalen.

Oversvømmede arealer

Med flere sager, der rapporterer om sammenfald mellem kraftig nedbør og forureningshændelser i drikkevandet (LeChevallier et al. 1991; 1996), kan det være relevant at kortlægge lavninger i terrænet, hvor der ved kraftig regn er øget risiko for opstuvning af vand. På samme måde som de forurenede grunde er de oversvømmede arealer, der ikke ligger i direkte forbindelse med ledningsnettet, sorteret fra.

På Kortforsyningen kan der hentes GIS-kort over lavninger, som angiver hvor vandet vil samle sig under antagelse af, at der ikke er et fungerende afløbssystem til opsamling af regnvandet. Ønsker man at arbejde med mere detaljerede oversvømmelseskort kan der benyttes kort fra forsyningens/kommunens klimatilpasningsplaner.

Kritiske back-flow virkksomheder

Problematiske kryds-forbindelser uden tilstrækkelig tilbagestrømningssikringer kan forårsage forurening af vandet i distributionssystemet ved tilbagestrømning. Dette var fx

årsagen til drikkevandsforureningen i Køge i 2007, hvor spildevand fra det lokale renseanlæg blev sendt direkte ud til vandhanerne hos forbrugerne (Martini 2007).

Følgende antagelse er lavet: Private husholdninger udgør ikke nogen tilbagestrømningsrisiko, da der som regel er installeret kontraventiler i husholdningens vandmåler. Der er heller ikke tilstrækkeligt tryk, til at presse en forurening tilbage i distributionssystemet.

Såfremt kommunen eller forsyningen er i besiddelse af data vedrørende placering af virksomheder med risiko for tilbagestrømning, kan disse bruges i analysen. Alternativt kan virksomheder udpeges via Google Earth eller Google Maps, og data eksporteres fra Google i kmz/kml-format, og konverteres til vektor-format i ArcGIS.

Ledningsalder - Drikkevandsledninger

Afhængig af materialet har røret varierende holdbarhed. Nedenfor er angivet en tabel med de forventede levetider for rør af forskellige materialer (Nissen 2014):

Tabel 3 Forventede levetider for rør af forskellige materialer (Nissen 2014)

Materiale	Forventet levetid
Støbejern	50 år
Asbest/Cement	60 år
PVC	75 år
Beton	100 år
Duktilt jern	100 år
PE	100 år

Risiko for brud på røret må antages at være større på ældre rør end nye rør. Det er derfor muligt at inddrage viden om rørets alder i analysen og finde steder i distributionssystemet, hvor rørene er ved at nå en alder, der nærmer sig enkelte materials maksimale levetid. Grænseværdien for rørets alder er sat til 25 år. Rør etableret inden for de sidste 25 år antages at være af en kvalitet, der er uproblematisk for drikkevandets kvalitet og kan derfor udelades.

Rørets alder kan være registreret i ledningsdatabasen og er i så fald en del af attributtabellen, som overføres, når data føres fra den hydrauliske model til et vektor-format, der kan læses i ArcGIS.

Det kan særligt være relevant at sammenholde viden om rørets alder med viden om rørets materiale, da denne sammenligning kan sige noget om, hvorvidt røret udover at være af ældre dato også er ved at nå den maksimale levetid for det eksplicitte materiale. Viden om rørets alder kan yderligere sammenholdes med parametrene: lavt tryk, trykudsving, trykstød, forurenet jord, oversvømmede arealer, tryksatte spildevandsledninger. Sammenholdes samtlige parametre opnås et billede af risikoområder for brud på ledning, samtidig med problematisk trykniveau og risiko for udefrakommende forurening.

Ledningsmateriale - Drikkevandsledninger

Rørmaterialet er afgørende for rørets levetid og for dets generelle holdbarhed. Erfaringer fra VandCenter Syd peger på at især støbejernsrør er brudfølsomme (Nissen 2014).

På baggrund af data fra VandCenter Syd er følgende klassificering af rørmaterialer lavet:

Tabel 4 Klassificering af rørenes materiale. Støbejern er det materiale med højest brudfrekvens i VandCenter Syd, og støbejern er derfor placeret i klasse 9 ved klassificering af materialer. Denne klassificering er gældende for VandCenter Syd, men kan se anderledes ud for andre forsyninger. Det er også muligt at klassificere materialerne på baggrund af risiko for udsivning af problematiske sporstoffer og metaller til drikkevandet.

Materiale	Klasse
Støbejern	9
Eternit/Asbest/Cement	8
PVC	7
PE	6
Sentap armeret betonrør	5
Duktilt jern	4
Bonna	3
Andre	1-2

Klassificeringen er foretaget under betragtning af, at støbejern er prioriteret højest i GIS-analysen og Bonna er prioriteret lavest. Klassificeringen kan ændres, såfremt man i den pågældende forsyning har andre erfaringer med materials holdbarhed eller ønsker at inkludere ledningsmaterialets frigivelse af uønskede stoffer som en del af analysen.

Rørets alder kan være registreret i ledningsdatabasen og er i så fald en del af attributtabellen, som overføres, når data føres fra den hydrauliske model til et vektor-format, der kan læses i ArcGIS.

Denne parameters relevans i sammenhæng med andre parametre er beskrevet i "Ledningsalder".

Tryksatte spildevandsledninger

Lækkende spildevandsledninger forårsager mikrobiologisk forurening i det omkringliggende jordlag. Hvis der er tæt kontakt mellem disse og drikkevandssystemet, kan der forekomme indsvivning af spildevand i drikkevandssystemet. I henhold til DS475 placeres spildevandsledninger generelt lavere end drikkevandsledninger. Der er derfor fokus på fælles- og spildevandsledninger under tryk, da forureningen her vil spredes i alle retninger. Der er i analysen sat en grænse for spredningen på 5 meter. Det vil sige, at tryksatte ledninger, der krydser en drikkevandsledning eller ligger inden for 5 meters afstand, inkluderes i analysen, mens ledninger mere end 5 meter fra en drikkevandsledning udelades.

Data vedrørende fælles- og spildevandssystemet kan sandsynligvis tilgås internt i forsyningens spildevandsafdeling.

Da drikkevandssystemet er tryksat, bør der ikke være risiko for indtrængende vand fra en eventuel spildevandsforurening. Som tidligere nævnt kan der dog forekomme trykudsving, der øger risikoen for indsvivende vand. For at denne parameter derfor har relevans forudsættes et sammenfald af flere parametre: lavt tryk, trykudsving, trykstød og problemer med distributionssystemets fysiske integritet i.e. alder og materiale.

4.2.1.3 Følsomme forbrugere

Følsomme forbrugere er de forbrugere, der er mere følsomme over for en mulig forurening end den "normale" forbruger. Umiddelbart falder hospitaler, plejehjem og virksomheder, hvor vand indgår i produktionskæden i denne gruppe, men den kan udvides med institutioner, idrætsfaciliteter og andre typer af forbrugere, hvor rigtigt mange kan risikere at blive syge ved en forurening.

Det er ikke nødvendigt at holde de følsomme forbrugere i relation til andre parametre, da de er relevante individuelt set.

Hospitaler

Denne parameter bliver ofte benyttet i en monitoringsstrategi, både fordi hospitalet er en følsom forbruger - mange mennesker kan blive ramt af en potentiel forurening og langt de fleste forbrugere er ekstra udsatte, men også fordi hospitalet er en offentlig institution med et jævnt vandforbrug over alle ugens dage og relativt lettilgængeligt i forhold til prøvetagning til begrænset kontrol.

Der bliver ikke umiddelbart taget hensyn til størrelsen af hospitalet, men ønsker man at fremhæve et enkelt hospital, er det muligt at udpege det relevante hospital, definere det som et lag for sig selv og derefter tillægge laget ekstra vægt i GIS-analysen.

Såfremt kommunen eller forsyningen har data vedrørende placering af hospitaler i området, kan disse bruges i analysen. Alternativt kan data eksporteres fra Google i kmz/kml-format, som i ArcGIS kan konverteres til vektor-format.

Plejehjem

Denne parameter benyttes i en monitoringsstrategi, af samme grunde som hospitalet - det er en større institution, med et jævnt vandforbrug over alle ugens dage og tilgængeligt til prøvetagning. Derudover er plejhjemsbeboere, ligesom hospitalsindlagte, ofte mere modtagelige over for forurennet vand.

Der bliver ikke umiddelbart taget hensyn til antallet af sengepladser på plejehjemmet, men ønsker man at fremhæve et enkelt plejehjem, er det muligt at definere det relevante plejehjem i et lag for sig selv, som i analysen kan tillægges ekstra vægt.

Såfremt kommunen eller forsyningen har data vedrørende plejehjem i området, kan disse bruges i analysen. Alternativt kan data eksporteres fra Google i kmz/kml-format, som i ArcGIS kan konverteres til vektor-format.

Produktionsvirksomheder/varske

Virksomheder, hvor vand indgår som en del af produktionen, og hvor det er essentielt at vandet lever op til kvalitetskravene, kan være relevante at inddrage i analysen af økonomiske hensyn (det kan være vigtigt for kommunens økonomi, at der leveres vand af god kvalitet til virksomheden, for at sikre at virksomheden ikke flytter uden for kommunen). "Varske" står for virksomheder og institutioner, der specifikt har bedt om at blive oplyst om ændringer af vandets kvalitet, da vandets kvalitet har betydning for deres erhverv.

Der bliver ikke umiddelbart taget hensyn til virksomhedens størrelse/økonomi, men ønsker man at fremhæve en virksomhed, er det muligt på samme måde som for hospitaler og plejehjem.

Såfremt kommunen eller forsyningen har data vedrørende virksomheder med særlige krav til vandkvaliteten, kan disse benyttes i analysen. Alternativt kan man manuelt udsøge virksomheder på Google og eksportere disse i kmz/kml-format, som i ArcGIS kan konverteres til vektor-format.

Befolkningstæthed

Udover følsomme forbrugere, er det relevant at inddrage den generelle befolkning som en parameter. I analysen inddrages befolkningstætheden som en del af evalueringen, for at visualisere hvor mange forbrugere der dækkes af den udvalgte monitoringsplan.

Forsyningen bør i forbindelse med vandmålere i private husstande være i besiddelse af forbrugerdata og evt. data vedrørende beboere pr. husstand.

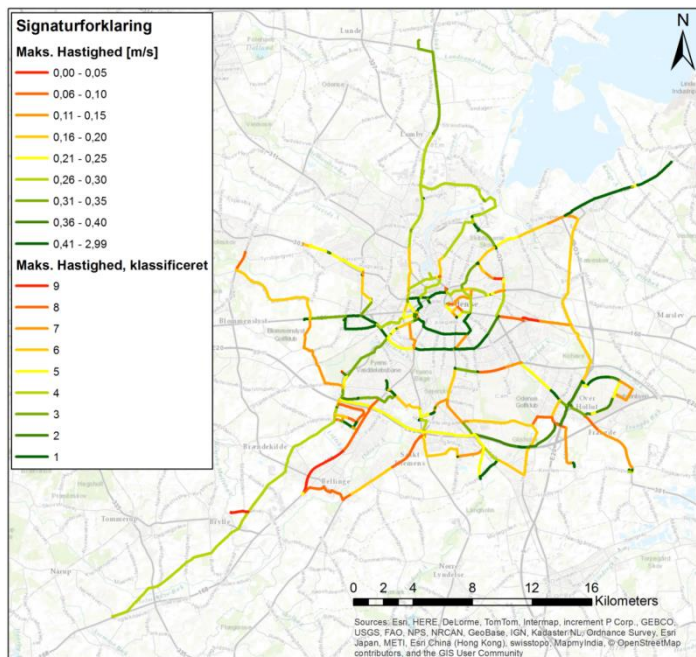
4.2.2 Trin 2: Registrering på distributionssystemet - projektion

Når parametre er valgt, skal data indsamles og klargøres, så de kan klassificeres og vægtes. For en detaljeret beskrivelse af databehandling henvises til Delrapport 2.

4.2.3 Trin 3: Klassificering af de enkelte lag

Hele ledningsnettet er repræsenteret ved en værdi, specifik for parameter og placering. Disse værdier udgør, for de individuelle parametre, et interval af varierende størrelse, fx tryk i mSv og afstand til hospital i meter. For at gøre parametrene sammenlignelige skal der sikres en standardiseret måleenhed. Derfor defineres et indeks for egnethed for prøvetagning på en kontinuert skala fra 1 til 9, hvor 9 er højeste egnethed. Klassificering foretages ved hjælp af værktøjet "Reclassify" i ArcGIS, der skaber ni lige store bidder i intervallet fra laveste/højeste parameter værdi til den angivne grænseværdi (Tabel 2).

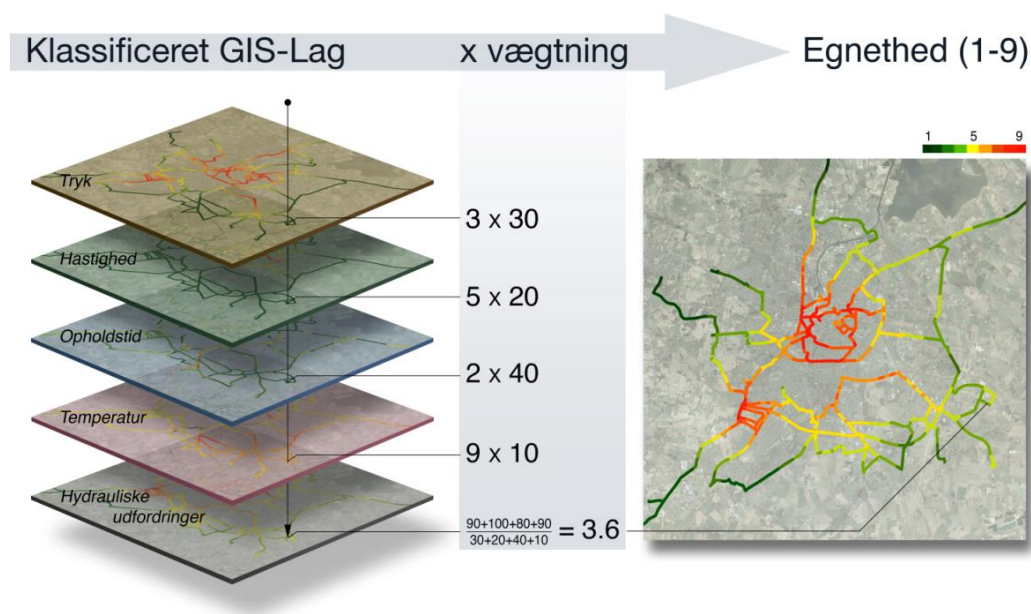
Et eksempel på klassificering af den maksimale hastighed for vandet i VandCenter Syds distributionssystem er vist på Figur 3. Den maksimale hastighed i ledningsnettet er inddelt i ni klasser, hvor klasse 9 definerer særdeles relevante prøvetagningssteder grundet meget lave maksimale hastigheder, klasse 2 er det mindst egnede område indenfor grænseværdien, og klasse 1 definerer hele intervallet, der strækker sig fra grænseværdien ($>0,4\text{m/s}$) til den maksimalt målte hastighed, dvs. irrelevant for en monitoringsplan. Samme princip er anvendt for øvrige parametre.



Figur 3 Inddeling af vandets maksimale hastighed i ni klasser, hvor klasse 9 udgør områder, der er specielt interessante at monitorere grundet meget lave maksimale hastigheder og klasse 1 udgør områder, der er irrelevante for en monitoringsplan.

4.2.4 Trin 4: Vægtning af lag indbyrdes

GISMOVA bruges til at kombinere de identificerede parametre med henblik på at skabe et kort over egnede prøvetagningssteder. I denne metode bliver parametrene kombineret ud fra en lineært vægtet kombinationsmetode, se Figur 4. Vægten bør udgøre en sum af 100, som er kravet til metoden (Carver 1991; Eastman 1995; Dai et al. 2001).



Figur 4 GISMOVA sammenstiller parametre med relevans for valg af prøvetagningssted, så optimale prøvetagningslokaliteter kan udpeges i distributionssystemet. Klasse 9 (rød) indikerer særdeles høj egnethed.

Parametrene kan vægtes på mange måder. Afhængigt af hvordan de enkelte parametre vægtes, vil der fremkomme forskellige analyseresultater. Det vil i høj grad være op til den enkelte forsyning ud fra et kendskab til eget forsyningssystem og forbrugere at vurdere vigtigheden af de enkelte parametre.

Der er taget udgangspunkt i seks overordnede vægtningssæt, med henblik på at dække de definerede fokusområder fra afsnit 4: Strategiske lokaliteter, kritiske lokaliteter og følsomme forbrugere. Forsyningen kan benytte sig af disse, eller målrette analysen til deres distributionssystem ved en mere detaljeret vægtningsmetode. Såfremt man ikke har alle lag tilgængelige i analysen, vil det være nødvendigt at ændre vægtningen vist i Tabel 5. Vægtningen udføres ved hjælp af værktøjet "Weighted Overlay" i ArcGIS. Tabel 6 beskriver de seks vægtningssæt.

En anden benyttet vægtningsmetode er den såkaldte "parvise sammenligning", hvor det er muligt at definere vigtigheden af parametrene i forhold til hinanden ud fra en standardiseret skala (Voogd 1982; Dai et al. 2001; Saaty 2008). Denne metode er ikke beskrevet yderligere her.

Tabel 5 Relativ vægtning af parametre for seks forskellige vægtningssæt. Andre vægtningssæt kan dannes ud fra den enkelte forsynings behov.

Datalag\Vægtningssæt	Udkants områder	Parallel prøver	Mix	Indsivnings -risiko	Hydrauliske udfordringer	Følsomme forbrugere
Parallelprøver		100				
Vandets opblandingsgrad			100			
Hastighed					17	
Tryk				12	17	
Trykvariation				11	17	
Trykstød				11	17	
Opholdstid	50				16	
Temperatur	50				16	
Hospitaler						34
Plejehjem						33
Produktionsvirksomheder						33
Kritiske back-flow virksomheder				11		
Forurenede grunde				11		
Oversvømmede arealer				11		
Alder; Drikkevandsledninger				11		
Materiale; Drikkevandsledninger				11		
Tryksatte spildevandsledninger				11		
Sum	100	100	100	100	100	100

Tabel 6 Fokus for de seks vægtningssæt jf. Tabel 1, samt beskrivelse.

Fokus	Vægtningssæt	Beskrivelse
Strategiske lokaliteter	Udkantsområder	Vægtningssættet "Udkantsområder" fokuserer primært på de parametre, der trækker målepunktet ud i yderområdet af distributionssystemet. Denne vægtning er lavet for at tilgodese de borgere, der bor langt fra vandværker og højdebeholdere og sikrer en højere grad af geografisk spredning af målepunkterne.
	Parallelprøver	"Parallelprøver" resulterer i et kort, der viser, hvor der næsten ingen opblanding er mellem forskellige vandkilder. Denne vægtning indeholder kun én parameter og bruges til at udpege parallelprøvetagningssteder.
	Mix	"Mix" viser antallet af vandværker, der bidrager med vand i hver enkel ledningsstrækning og angiver derved zoner med høj grad af opblandet vand. Denne vægtning indeholder kun én parameter og bruges til at udpege strategiske prøvetagningssteder med fokus på opblandet vand.
Kritiske lokaliteter	Indsivningsrisiko	"Indsivningsrisiko" repræsenterer de parametre, der udgør en trussel for indsivning af forurenede vand i drikkevandssystemet. Dette er eksempelvis trykudsving eller lavt tryk, der gør det muligt for vand at sive ind ved utætheder. Hvis dette fænomen sker et sted, hvor jorden er forurenede eller på anden måde udgør en trussel (oversvømmet areal/tætplacerede spildevandsledninger), og ledningen samtidig er meget gammel eller er lavet i et materiale, hvor brudfrekvensen er høj vil der være øget risiko for en forurening. Dette vægtningssæt indebærer derfor sammenfald af flere parametre for at udgøre en reel trussel.
	Hydrauliske udfordringer	Vægtningssættet "Hydrauliske udfordringer" er lavet for at lokalisere ledningsstrækninger med større risiko for eftervækst, givet ved fx lang opholdstid, høj temperatur, døde ender eller lav hastighed.
Følsomme forbrugere	Følsomme forbrugere	Vægtningssættet "Følsomme forbrugere" viser resultatet af at tilgodese de følsomme forbrugere over alt andet.

4.2.5 Trin 5: Udpegning af optimale prøvetagningssteder

Resultatet af den indbyrdes vægtning af datalag er et samlet lag, der angiver den vægtede karakter for samtlige ledningsstrækninger i distributionssystemet. Dette lag bruges til at sortere og tydeliggøre ledningsstrækninger i henhold til deres prioritering, fra 1-9, hvorved det er muligt at udpege de højest prioriterede prøvetagningssteder i distributionssystemet.

Samtlige vægtningssæt kan med fordel benyttes til udpegning af prøvetagningssteder. Ønsker forsyningen i stedet at fokusere på de definerede parametre enkeltvis, som fx er gjort ved parallelprøver eller mix, kan man vælge at udelade vægtningen og udelukkende fokusere på kortene, der fremstilles ved klassificeringen.

Ved at benytte de producerede GIS-kort fra klassificering og vægtning til at udpege prøvetagningssteder, sikres en robust monitoringsplan, hvor flere parametre kontrolleres.

4.2.6 Trin 6: Evaluering af udpegede prøvetagningssteder

Sidste trin i GISMOVA er at evaluere de udvalgte prøvetagningssteder: Hvilke parametre, og hvor mange forbrugere er dækket af en eventuel monitoringsstrategi?

Viden om vandets retning er ikke inkluderet i analysens fem første trin, jf. Figur 2, da analysen har fokuseret på at lokalisere mulige trusler for vandets kvalitet og følsomheder i systemet. For at vurdere hvor mange forbrugere, der er berørt af en eventuel monitoringsstrategi er det dog nødvendigt at kende befolkningstætheden, samt vandets retning, for både at kunne definere området der dækkes (nedstrøms), og området, hvor der muligvis forefindes en forureningskilde (opstrøms).

For at inkludere vandets retning i ArcGIS er det nødvendigt at skabe et geometrisk netværk. Et geometrisk netværk er et sæt af forbundne vektorer, dvs. linjer forbundet via knuder, der viser flowretningen. ArcGIS tilbyder analyse-værktøjer til geometriske netværk, der identificerer op- og nedstrøms ledninger.

Det geometriske netværk dannes i ArcCatalog, og analyseværktøjet "Utility Network Analyst" tilføjes i ArcGIS's toolbar.

Denne del af analysen kan benyttes til at vurdere eksisterende prøvetagningssteder. Opstilles en tabel over parametre og forbrugere, der dækkes ved eksisterende prøvetagningssteder og for de ny-udpegede prøvetagningssteder, er det muligt at vurdere, om placeringen af prøvetagningssteder bør ændres, og tabellen sammen med kortet kan fungere som dokumentation for udvalgt monitoringsstrategi.

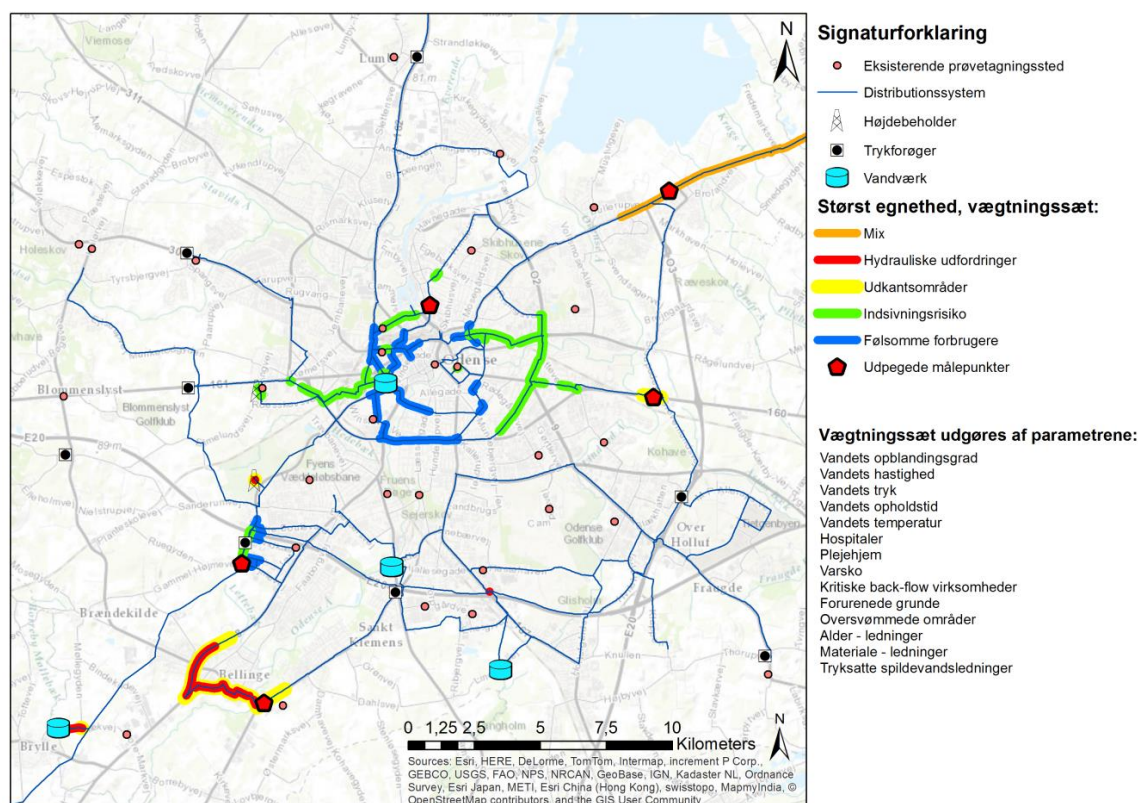
5 Evaluering af GISMOVA – erfaringer fra Odense og Aarhus

Med GISMOVA er det muligt at identificere kritiske ledningsstrækninger i distributionssystemet, udpege områder af høj prioritet for en monitoringsstrategi og evaluere disse i henhold til effekt og omfang. Analyse og kortlægning kan bruges som dokumentationsgrundlag for den valgte monitoringsstrategi. Kortlægningen skaber overblik over distributionssystemet og dets forbrugere, hvilket er gavnligt under en beredskabssituation eller som beslutningsstøtte ved placering af on-line sensorer eller sekundære hygiejniske barrierer i distributionssystemet. Alternativt, kan kortene benyttes under anlægsarbejde til at sammenstille viden om distributionssystemet og anlægstrace, hvilket kan forhindre graveuheld. Under længere tids anlægsarbejde, eller under ekstreme regnhændelser kan kortene benyttes til at placere prøvetagningssteder i forbindelse med kampagneprøver. Endeligt kan kortene bruges til at identificere områder, hvor sæsonafhængige prøvetagningssteder har relevans som fx i sommerhusområder.

På baggrund af erfaringerne ved implementering af GISMOVA i henholdsvis Odense og Aarhus, er det vigtigt at påpege metodens begrænsninger i forhold til de data, der benyttes. I Aarhus er den hydrauliske vandforsyningsmodel delt op i zoner, og det er derfor ikke muligt at udføre GISMOVA på hele forsyningsområdet på en gang. Til gengæld er både hovedledninger og forsyningsledninger inkluderet i modellen. I Odense, derimod, er der lavet en vandforsyningsmodel for hele forsyningsområdet, men kun med hovedledninger. Det resulterer i, at der for Odense ikke udpeges prøvetagningssteder på andet end hovedledningen, og at GISMOVA skal udføres gentagne gange i Aarhus for at dække hele forsyningsens system. Derudover, har det varieret, hvilke data det har været muligt at skaffe hos de to forsyningsvirksomheder, og det tydeliggør nødvendigheden af at tilpasse analysen til det data, der er til rådighed.

Vægtning af parametre har været velegnet til at udpege strategiske og kritiske prøvetagningssteder, i både Odense og Aarhus, med flere parametre repræsenteret i ét punkt (Grønkjær 2014; Færge 2015; Larsen et al. 2015). Dette er yderst relevant, hvis man skal placere ganske få prøvetagningssteder i et geografisk stort område. I både Aarhus og Odense var resultatet af vægtningen, at prøvetagningsstederne samledes mod centrum. Dette skyldes i særdeleshed de mange følsomme forbrugere. Ønskes større spredning har resultaterne fra Odense vist, at det kan være hensigtsmæssigt at inkludere resultaterne fra de enkelte parametre. De udvalgte prøvetagningssteder, de højest vægtede ledningsstrækninger og de eksisterende prøvetagningssteder er vist nedenfor (Figur 5).

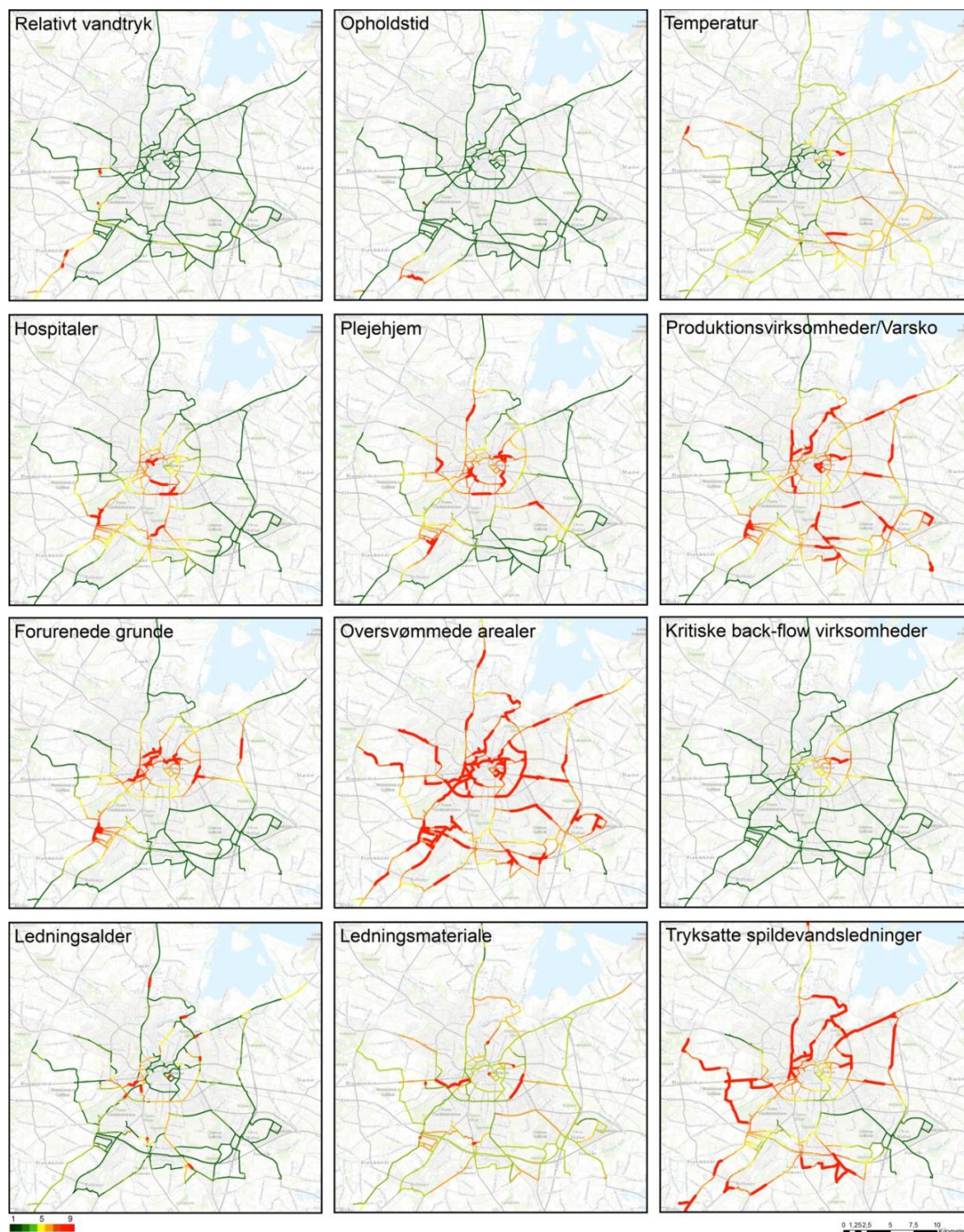
Resultatet af klassificering af 12 parametre fra Odense er vist på Figur 6, side 36.



Figur 5 Samtlige strækninger der er vægtet højest i de fem vægtningssæt: Mix, Hydrauliske udfordringer, Udkantsområder, Indsivningsrisiko og Følsomme forbrugere er illustreret med henholdsvis orange, rød, gul, grøn og blå. De fem udpegede prøvetagningssteder er vist sammen med de allerede eksisterende prøvetagningssteder.

Flere forsyninger ønsker at udføre parallelprøver for at validere resultaterne af kontrollerne (Corfitzen et al. 2015). Demonstration af GISMOVA i Odense har vist, at det er muligt at have fokus på parallelprøvetagning, samtidig med at der også fokuseres på andre vandkvalitetsparametre, hvorved der opnås bedre udnyttelse af de relativt få kontroller, der udføres.

Som tidligere nævnt er det nødvendigt efter udvælgelse af prøvetagningssteder at vurdere, hvilke punkter der skal være faste, hvilke der skal fungere som stikprøver og hvilke punkter der kun er sæsonrelevante. GISMOVA-kortene kan give overblik over fx sommerhusområder, der kan monitoreres i sommermåneder og oversvømmede arealer, der er relevante efter større regnhændelser. Det er også nødvendigt at finde et passende tappested i nærheden af de udpegede områder, da både den danske og internationale vejledning anbefaler tappesteder med god tilgængelighed og højt forbrug henover hele året, også i weekenden. Den endelige monitoringsstrategi er derfor ikke tilendebragt ved hjælp af GISMOVA, men områder af relevans er fundet, og der er dokumentation for valget.



Figur 6 Klassificering af relativt vandtryk, opholdstid, temperatur, hospitaler, plejehjem, varsko-virksomheder forurenede grunde, oversvømmede arealer, kritiske back-flow virksomheder, ledningsalder, ledningsmateriale og tryksatte spildevandsledninger. Data er fra VandCenter Syd.

5.1 Videreudvikling

GISMOVA er et fleksibelt værktøj i den forstand, at nye parametre kan tilføjes (eller forbedres) efter anmodning, eller når data er tilgængeligt.

At samle og kortlægge information som her, viser sig ofte nyttigt i andre planlægningsopgaver. Dette kan inkludere udvidelse af distributionssystemet, arbejde i spildevandsafdelingen, der inkluderer opgravning af trykledninger eller andet arbejde, der kan have indflydelse på sikkerheden for drikkevandet. Metoden kan også fungere som idegrundlag for en tilsvarende analyse i planlægning af sensorplacering i spildevandssystemet. Der er mange muligheder, og når data samles og kortlægges, kan der opstå flere udnyttelsesmuligheder, som data hver for sig ikke ville have været grundlag for.

6 Referencer

- American Water Works Association & American Water Works Association Research Foundation, 1992. Water Industry Database: Utility Profiles.
- Besner, M.-C., Prévost, M., Regli, S., 2011. Assessing the public health risk of microbial intrusion events in distribution systems: conceptual model, available data, and challenges. *Water research*, 45(3), pp.961–79.
- Carver, S.J., 1991. Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Systems*, 5(3), pp.321 – 339.
- CBCL Limited, 2011. Study on Water Quality and Demand on Public Water Supplies with Variable Flow Regimes and Water Demand, Newfoundland and Labrador.
- CDW (2012). Guidelines for Canadian Drinking Water Quality - Guideline Technical Document, *Escherichia coli*, Technical report. CDW = Federal-Provincial-Territorial Committee on Drinking Water of the Federal-Provincial-Territorial Committee on Health and the Environment.
- Corfitzen, C.B., Christensen, S.C.B., Albrechtsen, H.-J., Jacobsen, P., Møllerup, F., Lind, S., 2015. Fra kontrol til styring – risikovurdering i vandforsyningen Et innovationsprojekt under det strategiske partnerskab Vand i Byer.
- Dai, F., Lee, C., Zhang, X., 2001. GIS-based geo-environmental evaluation for urban land-use planning: a case study. *Engineering Geology*, 61(4), pp.257–271..
- Danva, 2012. Vejledning i planlægning af drikke- vandskontrol, DANVA vejledning nr. 87, Technical report, Dansk Vand- og Spildevandsforening.
- Donlan, R., 1988. Selected drinking-water characteristics and attached microbial-population density. *Journal American Water Works Association*, 80(11), pp.70 – 76.
- Dukan, S., Levi, Y., Piriou, P., Guyon, F., Villon, P., 1996. Dynamic modelling of bacterial growth in drinking water networks. *Water Research*, 30(9), pp.1991–2002.
- Eastman, J., 1995. Raster procedures for multicriteria multiobjective decisions. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 61(5), pp.539 – 547.
- Engelsborg, C.C., Andersen, U.T., Albrechtsen, H.-J., Ethelberg, S., Bagge, L., 2009. Undersøgelse af: Mikrobiologiske drikkevandsforureninger 2000-2002 omfang, årsager, aktion og sygdom, Miljøministeriet.
- European Commission, 1998. COUNCIL DIRECTIVE 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. *Official Journal of the European Communities*, L 330/32(5.12.98).

- Fransolet, G., Villers, G., Masschelein, W.J., 1985. Influence of Temperature on Bacterial Development in Waters. *Ozone: Science & Engineering*, 7(3), pp.205–227.
- Færge, M.L.H., 2015. Optimal monitoring locations in the Aarhus water supply distribution system, Bachelor thesis, Danmarks Tekniske Universitet.
- Grønkjær, T., 2014. Location optimization of water supply monitoring by spatial analysis, Master thesis, Danmarks Tekniske Universitet.
- Gullick, R., 2005. Application of pressure monitoring and modelling to detect and minimize low pressure events in distribution systems. *Journal of Water Supply Research and Technology-Aqua*, 54(2), pp.65 – 81.
- Gullick, R., 2004. Occurrence of transient low and negative pressures in distribution systems. *Journal American Water Works Association*, 96(11), pp.52 – 66.
- Kirmeyer, G.J., Friedman, M., Martel, K., Howie, D., LeChevallier, M. W., Abbaszadegan, M., Karim, M. R., Funk, J., Harbour, J., 2001. Pathogen Intrusion Into The Distribution System, American Water Works Association Research Foundation.
- Kirmeyer, G.J., Friedman, M., Martel, K., Thompson, G., Sandvig, A., Clement, J., Frey, M., 2002. Guidance manual for monitoring distribution system water quality, American Water Works Association Research Foundation.
- Larsen, S.L., Christensen, S.C.B., Albrechtsen, H.-J., Rygaard, M., 2015. GISMOVA, GIS-baseret monitoringsstrategi i vandforsyningen, 2.del - Vejledning.
- LeChevallier, M.W., Schulz, W., Lee, R.G., 1991. Bacterial nutrients in drinking water. *Applied and Environmental Microbiology*, (3), pp.857 – 862.
- LeChevallier, M.W., 1996. Full-scale studies of factors related to coliform regrowth in drinking water. *Applied and Environmental Microbiology*, 62(7), pp.2201 – 2211.
- LeChevallier, M.W., Gullick, R.W., Karim, M.R., Friedman, M., Funk, J.E., 2003. The potential for health risks from intrusion of contaminants into the distribution system from pressure transients. United States Environmental Protection Agency.
- LeChevallier, M.W., Karim, M.R., Aboytes, R., Gullick, R., Weihe, J., Earnhardt, B., Mohr, J., Starcevich, J., Case, J., Rosen, J.S., Sobrinho, J., Clancy, J.L., McCuin, R.M., Funk, J.E., Wood, Don J., 2004. Profiling Water Quality Parameters: From Source Water to the Household Tap, American Water Works Association Research Foundation.
- Livsmedelsverket, 2001. Vägledning till dricksvattenföreskrifterna (SLVFS 2001:30) om dricksvatten Fastställt: 2014-12-19 av enhetschefen för kontrollstödsenheten, Livsmedelsverket.
- Martini, J., 2007. Kloakvand blev sendt direkte igennem Køges vandhaner. Ingeniøren.
- Miljøministeriet, 2005. Vejledning om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg, Technical report, Miljøstyrelsen. Vejledning fra Miljøstyrelsen Nr.3.

- Miljøministeriet, 2014. Bekendtgørelse nr. 292 af 26/03/2014 om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg.
- Nawrocki, J., Raczyk-Stanisławiak, U., Swietlik, J., Olejnik, A., Sroka, M.J., 2010. Corrosion in a distribution system: Steady water and its composition. *Water research*, 44(6), pp.1863–72.
- NHMRC, 2011. National Water Quality Management Strategy, Australian Drinking Water Guidelines 6, Technical report. NHMRC = National Health and Medical Research Council.
- Nissen, E., 2014. Power Point: Water supply network at VCS, VandCenter Syd.
- Poças, A., Rebola, N., Cordeiro, B., Rodrigues, S., Benoliel, M.J., Vreeburg, J., Menaia, J., 2013. Methodology for sampling drinking water discolouration loose deposits at low velocities. *Water Science & Technology: Water Supply*, 13(4), p.1116.
- Scandinavian Society for Trenchless Technology, 2014. PE-rør til forskellige anvendelsesformål.
- Sundhedsstyrelsen & Naturstyrelsen, 2011. Mikrobiologiske drikkevandsforureninger 2010. Technical report, Sundhedsministeriet & Miljøministeriet.
- Sundhedsstyrelsen & Naturstyrelsen, 2012. Mikrobiologiske drikkevandsforureninger 2011. Technical report, Sundhedsministeriet & Miljøministeriet.
- Saaty, T.L., 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Science*, 1(1), pp.83 – 98.
- USEPA, 1990. Control of Biofilm Growth in Drinking Water Distribution Systems, Technical report. United States Environmental Protection Agency.
- USEPA, 2002. Effects of Water Age on Distribution System Water Quality. United States Environmental Protection Agency.
- USEPA, 2007. A Review of Distribution System Monitoring Strategies under the Total Coliform Rule, Technical report. United States Environmental Protection Agency.
- Voogd, J.H., 1982. Multicriteria evaluation for urban and rural planning, Delft.
- Vreeburg, J.H.G., Boxall, J.B., 2007. Discolouration in potable water distribution systems: a review. *Water research*, 41(3), pp.519–29.
- WHO, 1997. Guidelines for drinking-water quality, Technical report. World Health Organisation.
- WHO, 2014. Water Safety in Distribution Systems, Technical report. World Health Organisation.
- Winther, L., Linde, J.J., Winther, H., 2010. Vandforsyningsteknik 5th ed., Polyteknisk Forlag.

Bilag 1- Drikkevandsbekendtgørelsen

I dette bilag er angivet Drikkevandsbekendtgørelsens bilag, der relateres til kvalitetskontrol i vandforsyningens ledningsnet.

Begrænset kontrol

- i vandforsyningsanlægs ledningsnet (Miljøministeriet 2014, bilag 3)

Jf. Drikkevandsbekendtgørelsen kap. 3, § 7, skal der i den regelmæssige kontrol indgå en begrænset kontrol af vandet i et vandforsyningsanlægs ledningsnet:

Tabel A-1 Kontrolparametre ved begrænset kontrol i ledningsnettet (Miljøministeriet 2014)

Vandets udseende ^{1) 2)}	Nitrit ³⁾
Lugt og smag	Klor, frit og total ⁴⁾
Ledningsevne	Aluminium ⁵⁾
Temperatur	Coliforme bakterier
pH	Escherichia coli (E. coli)
Ammonium ⁶⁾	Kimtal ved 37 °C ⁷⁾
Jern	Kimtal ved 22 °C
Ilt	PAH-forbindelser ⁸⁾

1) Subjektiv bedømmelse.

2) Omfatter bl.a. farve og uklarhed.

3) Kun påkrævet, når vandet desinficeres med kloramin, eller når ammoniumindholdet i sidste prøve af vandværksvandet (bilag 4 og 5) overstiger 0,05 mg/l.

4) Eller rest af andet desinfektionsmiddel. Analysen foretages kun, hvis vandet desinficeres; analyser for frit og totalt klor skal foretages på prøveudtagningsstedet.

5) Kun nødvendig, hvis der anvendes aluminiumholdige vandbehandlingskemikalier, eller hvis kalkaggressivt vand transporteres i beton- eller cementrør.

6) Måles kun ved kloramintilsætning.

7) Bestemmes kun på indikation af mikrobiel forurening eller ved ledningsbrud.

8) Hvis der i vandforsyningsanlægget er anvendt vandrør af jern med indvendige tjærebelægninger, foretages undersøgelsen for de i bilag 1 nævnte PAH-forbindelser med hyppigheden anført i bilag 10 for kontrol med organiske mikroforureninger.

Kontrol med uorganiske sporstoffer

- i vandforsyningsanlægs ledningsnet¹⁾ eller på vandværket (Miljøministeriet 2014, bilag 6)

Jf. Drikkevandsbekendtgørelsen kap. 3, § 7, skal der i den regelmæssige kontrol indgå en kontrol med uorganiske sporstoffer i vandet i et vandforsyningsanlægs ledningsnet:

Tabel A-2 Kontrolparametre ved kontrol af uorganiske sporstoffer i ledningsnettet
(Miljøministeriet 2014)

For vandværker med en årlig udpumpet vandmængde over 350.000 m ³ skal der kontrolleres for:	
Aluminium ²⁾	Cyanid ³⁾
Antimon	Kobber
Arsen	Krom, total
Barium	Kviksølv
Bly	Nikkel
Bor	Selen
Bromat ⁴⁾	Sølv ⁵⁾
Cadmium	Strontium ⁶⁾
Cobolt	Zink
For vandværker med en årlig udpumpet vandmængde op til og med 350.000 m ³ skal der kontrolleres for:	
Aluminium ²⁾	Cyanid ³⁾
Arsen	Nikkel
Bor	Sølv ⁵⁾
Bromat ⁴⁾	Strontium ⁶⁾
Cobolt	

1) Prøven udtages ved indgangen til bygning (ved vandmåler eller nærmeste taphane herefter), når vandet har løbet så længe, at vandet, der står i installationer og stikledning, er udskyllet, og vandet mindst har løbet i 5 minutter. Vandværket er den ansvarlige for vandkvaliteten frem til indgang til forbrugernes ejendom, men hvis vandværket kan dokumentere, at der ikke sker en tilførsel af metaller i ledningsnettet, kan målingen i stedet foretages ved afgang fra vandværket. Særligt bly, kobber, nikkel og zink vil kunne tilføres i ledningsnettet.

2) Analysen foretages, hvor grundvandets pH er mindre end 6.

3) Måles kun, hvis der i indvindingsoplandet findes forureningskilder hertil som f.eks. gasværksgrunde, lossepladser, saltlag eller galvaniseringsanstalter, hvor der har været anvendt eller anvendes cyanid.

4) Analysen foretages kun, hvis vandet desinficeres med klor, ozon eller lignende stærkt iltende stoffer.

5) Analysen foretages kun, hvis der foretages desinfektion af tanke o.l. med sølvforbindelser.

6) Analysen foretages kun, hvis vandet indvindes fra områder med skrivekridt.

Kontrolhyppighed ved begrænset kontrol

- i vandforsyningens ledningsnet (Miljøministeriet 2014, bilag 9)

For vandforsyningsanlæg med en produceret eller distribueret vandmængde på under 3.000 m³ træffer kommunalbestyrelsen afgørelse om kontrolhyppigheden. For vandforsyningsanlæg med en produceret eller distribueret vandmængde på mellem 3.000-4.200.000 m³ fastsættes kontrolhyppigheden som angivet i Tabel A-3. For vandforsyningsanlæg med en produceret eller distribueret vandmængde på over 4,2 mio. m³ om året udregnes kontrolhyppigheden i henhold til følgende formel: 37 undersøgelser pr. år + 3 undersøgelser pr. år for hver yderligere påbegyndt produceret eller distribueret vandmængde på 350.000 m³/år. Antallet af undersøgelser kan under specielle forudsætninger nedsættes som angivet i Tabel A-3 kolonne 3.

Tabel A-3 Kontrolhyppighed ved begrænset kontrol i vandforsyningens distributionssystem (Miljøministeriet 2014).

Distribueret eller produceret vandmængde	Undersøgelser pr. år	
m ³ pr. år	Begrænset kontrol	Begrænset kontrol (nedsat hyppighed)
3.000-10.000	1/2 ¹⁾	1/2 ¹⁾
10.000-35.000	1	1
35.000-350.000	4	2
350.000-700.000	7	3
700.000-1.050.000	10	5
1.050.000-1.400.000	13	6
1.400.000-1.750.000	16	8
1.750.000-2.100.000	19	9
2.100.000-2.450.000	22	11
2.450.000-2.800.000	25	12
2.800.000-3.150.000	28	14
3.150.000-3.500.000	31	15
3.500.000-3.850.000	34	17
3.850.000-4.200.000	37	18

1) Den anførte brøk skal forstås således, at 1/2 betyder en prøveudtagning hvert andet år.

Hyppighed for kontrol med uorganiske sporstoffer

- i vandforsyningsanlægs ledningsnet eller på vandværket (Miljøministeriet 2014, bilag 10)

For vandforsyningsanlæg med en produceret eller distribueret vandmængde på 3.000 m³ om året eller derover skal der mindst foretages det i Tabel A-4 nævnte antal årlige undersøgelser, jf. bilag 6.

For vandforsyningsanlæg med en produceret eller distribueret vandmængde mellem 14 mio.- 35 mio. m³ om året gælder følgende: Kontrol med sporstoffer foretages med samme hyppighed som den valgte for udvidet kontrol på vandværket (Miljøministeriet 2014, bilag 5). Kontrolhyppigheden for den normale og udvidede kontrol (på vandværket) fastsættes samlet i henhold til følgende formel: 7 undersøgelser pr. år + 1 undersøgelser pr. år for hver yderligere påbegyndt produceret eller distribueret vandmængde på 3,5 mio. m³ pr. år. Fordelingen mellem normal og udvidet kontrol fastlægges af kommunalbestyrelsen, med hovedvægt af prøver på normal kontrol.

Antallet af undersøgelser for den enkelte parameter i kontrol med sporstoffer kan nedsættes efter nedenstående skema, når flere på hinanden følgende prøveudtagninger har vist ensartede og væsentligt lavere indhold end de angivne kvalitetskrav, og der ikke er kilder til forurening med disse stoffer. For vandforsyningsanlæg med en årlig udpumpet vandmængde på over 350.000 m³ pr. år kræves 3 på hinanden følgende undersøgelser, mens der for vandforsyningsanlæg under denne størrelse kræves 2 på hinanden følgende undersøgelser.

Tabel A-4 Kontrolhyppighed ved kontrol uorganiske sporstoffer, normalt og nedsat hyppighed (Miljøministeriet 2014).

Distribueret eller produceret vandmængde i m ³ pr. år	Kontrol med sporstoffer	Kontrol med sporstoffer (nedsat hyppighed)
3.000-10.000	1/2 ¹⁾	1/6 ¹⁾
10.000-35.000	1/2 ¹⁾	1/6 ¹⁾
35.000-350.000	1	1/3 ¹⁾
350.000-1.500.000	1	1/3 ¹⁾
1.500.000-2.660.000	1	1/3 ¹⁾
2.660.000-3.500.000	1	1/3 ¹⁾
3.500.000-7.000.000	1	1/3 ¹⁾
7.000.000-10.500.000	2	2/3 ¹⁾
10.500.000-14.000.000	2	2/3 ¹⁾

1) Den anførte brøk skal forstås således, at 1/6 betyder en undersøgelse hvert sjette år, mens 1/5 betyder en undersøgelse hvert femte år, 1/4 betyder en undersøgelse hvert fjerde år, 1/3 betyder en undersøgelse hvert tredje år, og 1/2 betyder en undersøgelse hvert andet år. 2/3 betyder, at der skal foretages en 2 undersøgelser i løbet af tre år, mens 3/2, 5/2 og 7/2 angiver, at der i løbet af to år skal foretages henholdsvis 3, 5 og 7 undersøgelser.

Kontrolhyppighed for Danmarks tre største forsyninger

I henhold til drikkevandsbekendtgørelsen, er de tre største vandforsyninger i Danmark pålagt følgende antal kontroller i deres distributionssystem:

Tabel A-5 Kontrolhyppighed ved begrænset kontrol for de tre største vandforsyninger i Danmark i henhold til Drikkevandsbekendtgørelsen og de anslåede vandmængder.

Forsyningsselskab	Distribueret eller produceret vandmængde (m ³ pr. år)	Krævede antal prøver pr. år (Begrænset kontrol)*	Krævede antal prøver pr. år (Uorganiske sporstoffer)
HOFOR	43.770.000 m ³ distribueret i HOFOR's forsyningsområde	379	Aftalt med myndighederne. To pr. år på hvert vandværk, samt 12 pr. år på ledningsnet i København samt 1 pr. år på ledningsnet i de øvrige kommuner. I alt 19 på ledningsnettet og i alt 28 på vandværkerne.
Aarhus Vand	≈ 20.000.000 (Aarhus kommune, Vandforsyningsplan 2004-2015)	175	Fastlægges af kommunalbestyrelsen**
VandCenter Syd	≈ 9.300.000 (Water supply network at VCS 2013, Erling Nissen)	82	2**

* Det krævede antal prøver pr. år er beregnet ud fra distribueret/produceret vandmængde ved metoden beskrevet under "Kontrolhyppighed ved begrænset kontrol".

** Det krævede antal prøver pr. år er beregnet ud fra distribueret/produceret vandmængde ved metoden beskrevet under "Hyppighed for kontrol med uorganiske sporstoffer".

DTU Environment
Department of Environmental Engineering
Technical University of Denmark

Miljoevej, building 113
DK-2800 Kgs. Lyngby
Denmark

Phone: +45 45 25 16 00
Fax: +45 45 93 28 50
Email: reception@env.dtu.dk
Website: www.env.dtu.dk